

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕГРЕГАЦИИ И ТЕРМОДИФФУЗИИ АТОМОВ БАРИЯ НА ФОТОЭМИССИОННУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПЛАВА Mg-Ba(1%)

З. Ф. Абдурашидова

Магистр Национального Университета Узбекистана

Н. А. Нурматов

Доцент Национального университета Узбекистана

АННОТАЦИЯ

В многофункциональной сверхвысоковакуумной установке изучены кристаллы магния и его сплавы с барием, методами оже-фотоэлектронной спектроскопии. В качестве источников излучения в области вакуумного ультрафиолета использовались криптоновые и ксеноновые резонансные лампы. Исследованы энергетические распределения фотоэлектронов $N(E)$, спектральные зависимости квантового выхода фотоэлектронной эмиссии до и после нагрева сплава магния-бария. Анализируется вклад поверхностных состояний и зон, образованных атомами магния и бария. Сравнением фотоэлектронных спектров магния и сплава магния с барием снятых при $h\nu=8,4\text{эВ}$ и 10эВ установлено, что в электронной структуре имеются максимумы при $0,6-0,7\text{эВ}$, $1,1-1,2$ и $1,5-1,6\text{эВ}$ ниже уровня Ферми, обусловленные с плотностью электронных состояний магния и бария. Экспериментально установлена, что после прогрева сплава магний-барий с объемным содержанием атомов бария-1% при $350-400^{\circ}\text{C}$ наблюдается сегрегация и термодиффузия атомов бария в поверхностный слой сплава. Впервые установлено, что по мере роста концентрации атомов бария в приповерхностной области сплава происходит химические сдвиги Оже-пиков магния связанные образованием интерметаллические соединения с разными стехиометрическими составами. Показано, что в области энергии фотонов 5эВ КВФ сплава почти на порядок больше КВФ чистого магния. Результаты обсуждаются на основе литературных теоретических расчетов, которые использованы плотности состояний магния модельных структур магния-бария.

Ключевые слова: физика, атом, сегрегация, термодиффузия, бария.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время фотоэмиссионные материалы с высоким квантовым выходом фотоэмиссии (КВФ) в ультрафиолетовой области спектра являются объектом интенсивных исследований, направленных на создание сильноточных эмиттеров электронов для мощных СВЧ- генераторов и лазеров на свободных электронах. Высокоэффективные полупроводниковые фотокатоды, которые могли бы быть использованы в этой области, новой техники требуют сложной процедуры активации эмиссионных свойств. Они разрушаются при воздействии мощных импульсов лазерного излучения, тепловых потоков и при ионной бомбардировке. В качестве фотокатодов также нельзя использовать чистые материалы из-за низкого значения КВФ в области ультрафиолета ($\gamma \sim 10^3 - 10^6$ эл/фотон). Поиск новых материалов для получения высокоэффективных фотокатодов, исследование механизма увеличения эмиссионной активности материалов, изучение объемных и поверхностных факторов приводящих к резкому увеличению квантовой эффективности металлических сплавных систем представляет не только научную, но и прикладную значимость.

Известно, что легирование алюминия и магния литием или барием приводит к значительному повышению квантовой эффективности фотокатодов изготовленных на их основе. В литературе этот эффект объясняют в основном поверхностным фактором, т.е образованием на поверхности сплава Al-Li и Mg-Ba двойного электрического слоя, состоящего из сегрегированных из объема сплава, атомов лития и бария, которые уменьшают работу выхода электрона.

К настоящему времени сделана попытка исследования вклада в квантовую эффективность объемного фактора. т.е роль особенностей электронной структуры поверхности в формировании высокого квантового выхода магния. При этом использовался метод измерения парамагнитной восприимчивости, который определяется плотностью электронных состояний на уровне Ферми. Таким образом, для изучения механизма высокой квантовой эффективности, вклада электронной структуры и других объемных факторов к повышению фотоэмиссионной активности материалов исследования необходимо провести комплексно с одновременным использованием несколько методов. Для исключения побочных эффектов приводящих к изменению условий на поверхности фотокатода необходимо провести эти исследования в сверхвысоковакуумных условиях. Результаты полученные именно в таких условиях представляют практический научный интерес не только в области физической электроники, но и в области физики поверхности твердого тела.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Конструкция экспериментального прибора и методика проведения экспериментов приведена в []. Для измерения фотоэмиссионного тока в области ближнего ультрафиолета ($\lambda \sim 2000\text{Å}$ и выше) была использована стандартная электрическая блок-схема. Источником излучения служила ртутно-кварцевая лампа. Монохроматизация излучения осуществлена при помощи монохроматора МДР-12У. Размер пучка фотонов $\sim 3\text{-}4$ мм.

Между образцом и коллектором подавалось постоянное стабилизированное напряжение от источника питания. При этом сетка и коллектор (анод) соединялись вместе и напряжение между образцом и сеткой коллектора составляло $+40$ В. Фотоэмиссионные токи снимались с образца и измерялись с помощью вольтметра - электрометра В7-30. Чувствительность измерительных приборов составляла $\sim 1 \cdot 10^{-15}$ А/дель.

После прогревов образцов определенном режиме один из кристаллов устанавливался в оптический центр анализатора фотоэлектронов.

Энергия фотонов изменялась в диапазоне от $2,25$ эВ до $5,15$ эВ.

Для калибровки источника излучения нами использовался откалиброванный фотоэлемент Ф-17. Этот фотоэлемент был установлен вместо образца, чтобы имитировать экспериментальные условия. Зная фотоэлектронные токи, при различных энергиях фотонов по формуле

$$\gamma = \frac{J_{\phi}}{e N_{\phi}}$$

легко определяется - число фотонов. Здесь γ - абсолютный квантовый выход фотоэлемента Ф-17; J_{ϕ} - регистрируемый фотоэлектронный ток на фотоэлементе; e - элементарный заряд электрона ($e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл); N_{ϕ} - число фотонов, падающих на фото-катод Ф-17.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

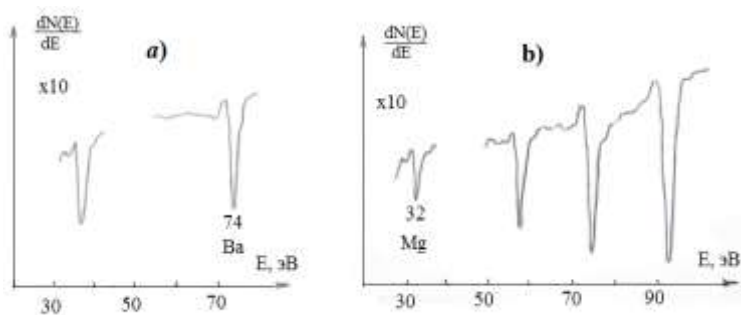


Рис. 1. Оже-спектры системы Mg-Ba, а) $T_{\text{пр}}=375$ С; $t=10$ мин, б) $T_{\text{пр}}=275$ С; $t=5\text{-}6$ мин

После прогрева сплава Mg-Ba (1%) при 100°C в течение более одного часа в оже-спектре появляется слабый пик магния при 45 эВ (переход LVV) и пик углерода (274 эВ). Оже-спектр в основном состоит из пиков углерода. С

увеличением температуры до 200°C существенно увеличивалась амплитуда оже-пика магния при 45эВ . В оже-спектре имеются оже-пики углерода и кислорода. Однако, не был обнаружен оже-пик бария. По всей видимости, еще не полностью удалился поверхностный "наклеп", образованный при предварительной обработке поверхности сплава. Прогрев сплава при 350°C в течение более 30 мин приводит химическому сдвигу оже-пика магния при 45эВ на $40\text{-}40,5\text{эВ}$. В оже-спектре снятом при этом режиме, кроме слабых оже-пиков углерода и кислорода мы обнаружили следы бария с оже-пиком при 74эВ . Известно, что самый интенсивный оже-пик бария в низкоэнергетической области спектра находится в

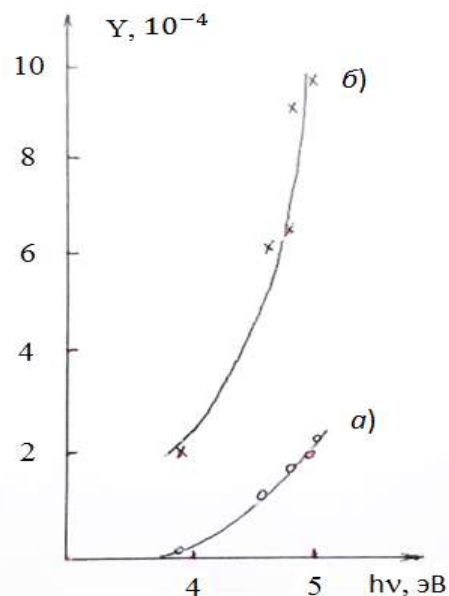


Рис 2. Спектральные распределения КВФ магния (а); сплава Mg-Ba (б)

области $73\text{-}74\text{эВ}$ [1]. На рис. 1(а) приведены участки оже-спектров снятые с поверхности сплава Mg-Ba(1%) после прогрева кристалла при $T_{\text{пр}} = 375^{\circ}\text{C}$ в течение 10 мин. Из рисунки видно, что резко увеличилась амплитуда оже-пика бария при 74эВ . Кроме этого, мы обнаружили химический сдвиг оже-пика магния при 45эВ . Этот пик магния сдвинутый до $40\text{-}40,5\text{эВ}$ при появлении следов бария сдвинулся еще на $3\text{-}3,5\text{эВ}$ и в оже-спектре расположился при энергии $36,5\text{-}37\text{эВ}$. В оже-спектре еще обнаруживался слабый пик углерода и следы кислорода. Поверхность сплава полностью очистится от загрязняющих примесей после прогрева при 350°C и выше. Кроме этого, амплитуда оже-пика бария при 74эВ 5 раза больше чем амплитуда пика магния при 37эВ . После того как были удалены «грязи» с поверхности сплава Mg- Ba(1%) прогрев кристалла приводил к существенному увеличению амплитуды оже-пика бария, показывающего образования пленки из атомов бария на поверхности сплава. Об этом свидетельствует еще и тот факт, что оже-спектре практически исчез оже-пик магния. На рис. 1(б) приведен оже-спектр снятый с поверхности в прогретом состоянии сплава при 275°C . В оже-спекте обнаруживаются все интенсивные низко энергетические пики бария: при 57эВ , 74эВ и 93эВ . Причем амплитуда оже-пииков бария значительно увеличилась. Далее мы снимали спектральную зависимость квантового выхода фотоэмиссии сплава Mg-Ba после сегрегации атомов бария на поверхности кристалла. При этом работа выхода сплава уменьшалось до $2,44\text{эВ}$, что соответствует работе выхода атомов

бария. Для сравнения приведены (рис.2) спектральные распределения КВФ чистого магния и сплава Mg-Ba покрытого атомами бария в результате их сегрегации и термодиффузии в поверхностный слой кристалла. Из рис.2 видно, что при энергии фотонов 4,98эВ, КВФ сплава 6-7 раз больше чем КВФ чистого магния. Фотоэлектронные спектры для чистого магния и сплава магния-бария приведены на рис.3 (а,б). Из рисунка 3 (б) видно что в спектрах $N(E)$ появляются особенности А и В при энергии $\sim 1, 1-1,2$ эВ и $1,4-1,5$ эВ связанные атомами бария.

Прежде чем анализировать результаты исследования фотоэмиссионных свойств сплава магния-бария отметим следующее. Атом магния в свободном состоянии состоит из ионного остова, внутри которого находится два 1S-электрона, два 2S-и шесть 2P-электронов, окружающих ядро; оставшихся два электрона на 3S-уровне являются валентными и легко могут быть оторванными. Поэтому магний сильно электроположительный металл, образующей очень прочную окись гидроокись. Т.е магний очень активен кислороду и он легко образует окись магния-MgO при наличии на поверхности кислорода. Этим объясняется появление оже-пика при 32эВ в процессе термообработки магния. Магний кристаллизуется в плотноупакованной гексагональной структуре [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненной работы можно сделать следующие заключения.

Подготовлен литературный обзор по высокоэффективным фотокатодам на основе двойных металлических сплавов. 2. Освоены методы измерения спектрального распределения квантового выхода фотоэмиссии, оже-спектров и энергетического распределения фотоэлектронов в области вакуумного ультрафиолета и количественная обработка полученных результатов на ЭВМ. 3. Проведена термическая обработка кристалла магния с одновременным контролем изменения элементного состава поверхности методом ЭОС с целью получения атомно-чистой поверхности кристалла. 4. Определена фотоэлектронная работа выхода поверхности магния методами прямой Фаулера с использованием метода наименьших квадратов, а также методом изотермических кривых Фаулера. ФРВ чистой поверхности магния равна: $e\phi = (3,67 \pm 0,02)$ эВ.

REFERENCES

1. Standard AUGER Spectra of the ELEMENTS" Справочник, -1976.
2. Рейнор Г.В. «Металловедения магния и его сплавов» / М. Metallurgia - 1964, с. 1486
3. Бурибаев И., Нурматов Н.А., Талипов Н., Аскарлов М., Ткаченко В.Г., Максимчук И.Н., Кондрашев А.И., «Электронная структура и фотоэмиссионные свойства легких сплавов с нанокластеризованной структурой». Материалы семинара в НАН Украины «Электронная структура и свойства тугоплавких металлов и наноструктурных материалов». Киев-2004.-1с
4. Ткаченко В.Г. Физический основы формирования и восстановления механических и прецизионных сплавов./ Киев-1996, с.364 Ткаченко В.Г., Кондрашев А.И., Лазоренко В.И., Лашкарев Г.В. Трефилов В.И., Электронная структура металлических сплавов с повышенным квантовым выходом фотоэмиссии. // ДАН (Москва), - 1999, т.367, №5., с. 632-635. 24. 2. 2.
5. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника./ 1966 М. Наука.с.
6. Ионов твердотельных элементов. *С. Ф. Белых, А.Б. Толстогозов, А.А Лозован №-10 2015.*
7. Температурная зависимость движущих сил поверхностной сегрегации в сплавах Cu-Ge и Cu-Mn.
И.Н.Прохоров, К. Ч. Бжухатлов №-5 2015
8. Упорядочение в твердых растворах Cu-25 ат.% Au и Cu -75 ат.% Au
Д. Энхтор, В.М.Силонов, П.П.Сапронов. №-4 2015,